

**OPTIMISATION DES PLATES-FORMES**  
***support de chaussées autoroutières***  
***en fonction***  
**DES CONDITIONS DE CHANTIER**  
**ET DU BILAN TECHNICO-ECONOMIQUE GLOBAL**  
***(chaussées + couche de forme)***

**Yves GUERPILLON**

# EVOLUTION DE L'INTERFACE TERRASSEMENTS / CHAUSSEES

Dernier mètre des terrassements de la RTR 76 rationalisé par le GTR 92 en PST suivant la nature des sols.

**Risque de surabondance donc de surcoût entre PST et couche de forme**

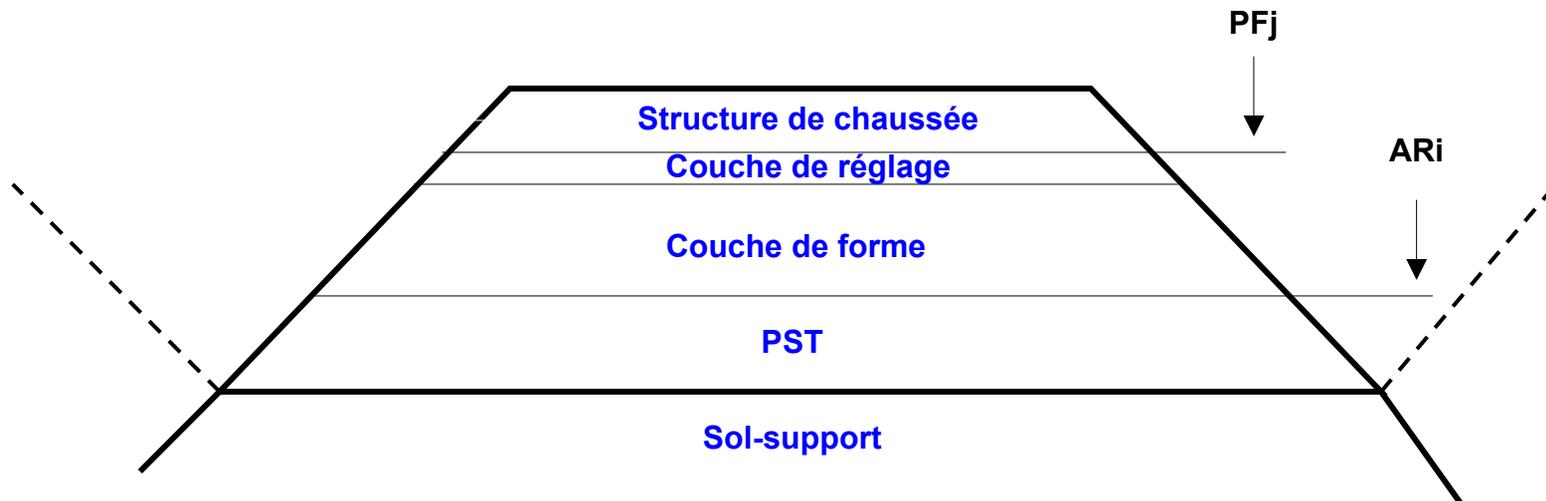
ce qui a conduit SCETAUROUTE à proposer :

⇒ un Guide de conception des plates-formes autoroutières,

⇒ et une démarche globale d'optimisation PST/CF/Ch par :

- . un choix de la PST en tenant compte du trafic de chantier,
- . « intégration » de la couche de forme dans la structure de chaussée avec une analyse globale coûts de construction + coûts d'entretien sur la durée de vie,
- . « réglage » de la protection au gel par la PST et la couche de forme.

# CONCEPTION DES STRUCTURES ROUTIERES



# DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES DE CHAUSSEES

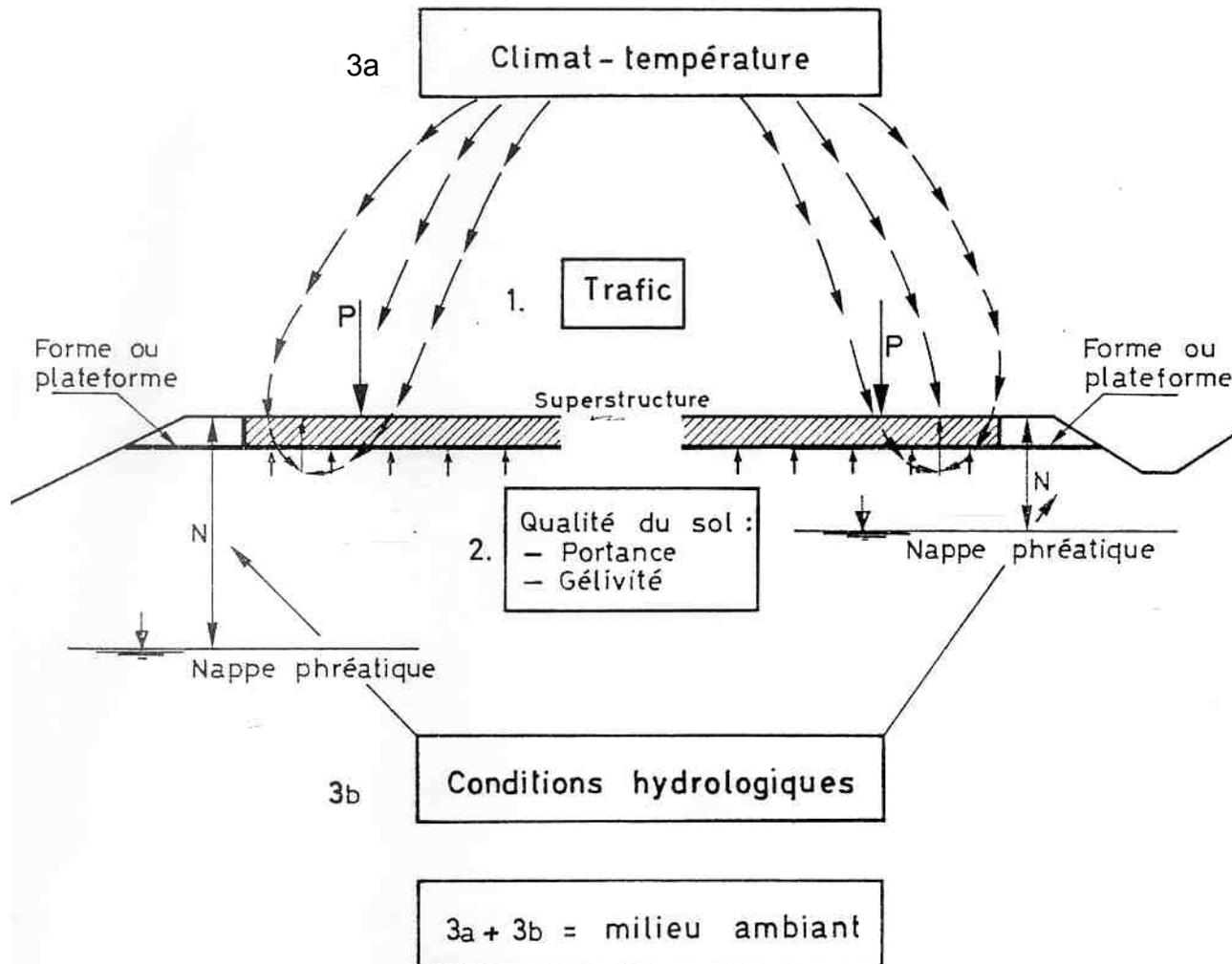
Méthode analytique (modèle élastique multicouche de Burminster).

Analyse probabilistique des caractéristiques des matériaux et de la régularité des épaisseurs de couches.

Calage route-labo.

⇒ en fonction du trafic et des caractéristiques de la plate-forme support de chaussée (PFI)

Celles-ci dépendent de l'arase terrassement.



**ROULEMENT**

**BASE**

**FONDATION**

**REGLAGE**

**FORME**

**PST**

**SOL SUPPORT**

**PF<sub>j</sub>**

Manuel de Conception des  
chaussées d'autoroutes ou  
Guide technique SETRA-LCPC

Guide de conception des plates-  
formes

Guide Technique pour la Réalisation  
des terrassements et des couches de  
formes (GTR)

$H_{\text{FORME}}$

$H_{\text{PST}}$

$S_k$

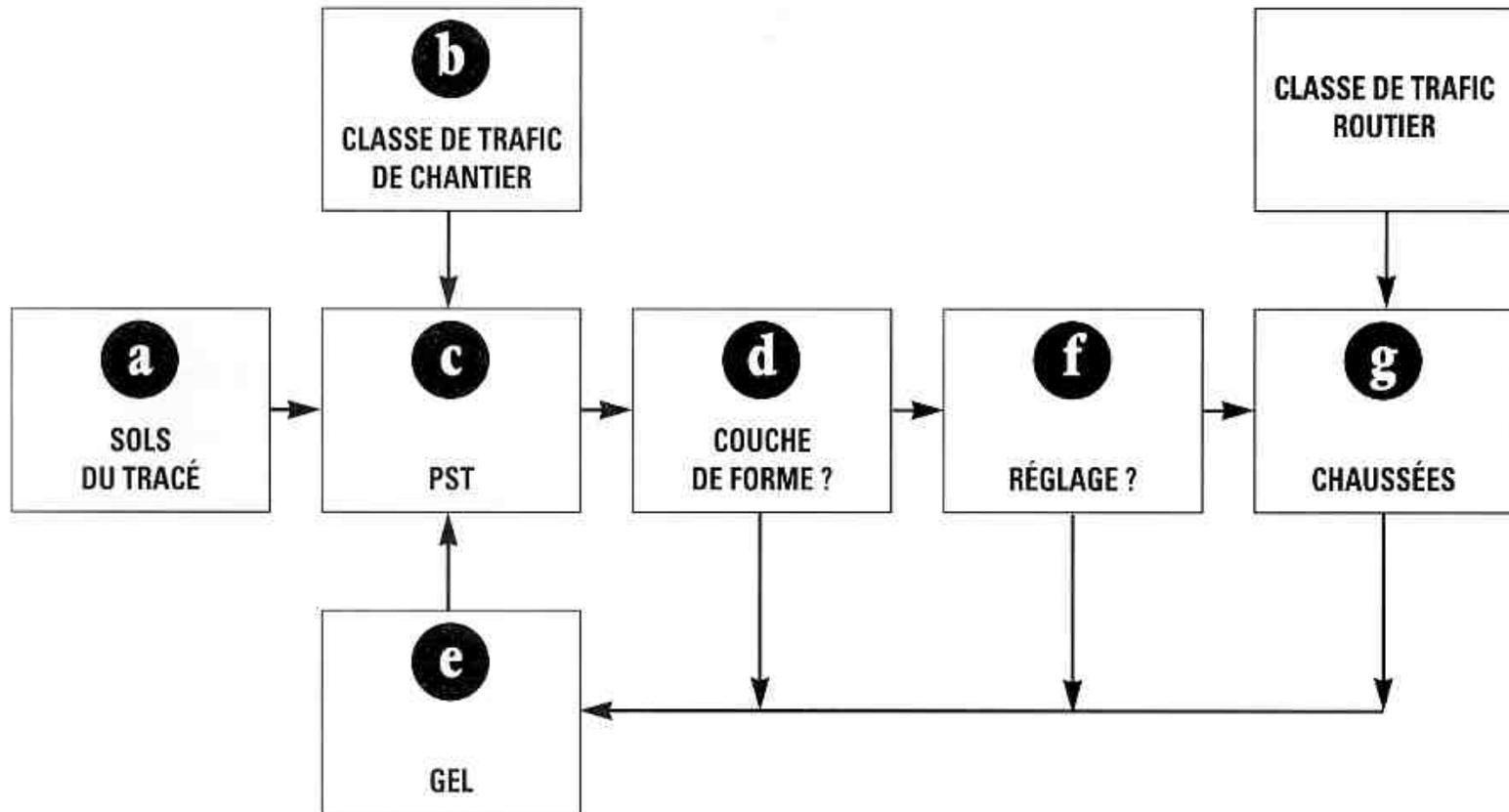
## Liaison terrassements - chaussées

Outil pour optimiser l'ensemble « sol-support - partie supérieure des terrassements (PST) - couche de forme - couche de réglage - couches de chaussées ».

Deux structures à concevoir :

- l'une avec **la PST ou la couche de forme** devant supporter le trafic chantier,
- l'autre qui est la structure complète **PST-couche de forme-chaussées** destinée à supporter le trafic routier en phase exploitation.

# METHODE D'ANALYSE

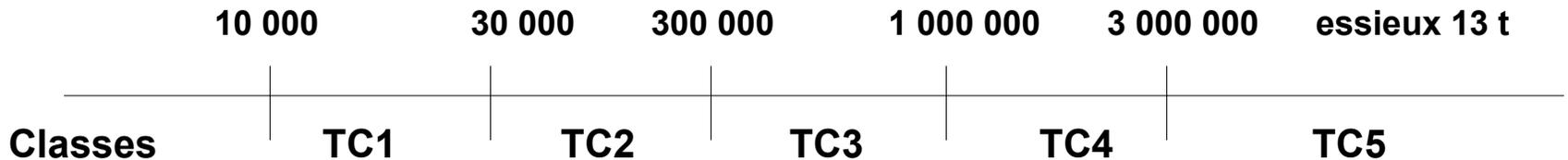


# TRAFIC

Dépend de la stratégie du mouvement des terres :

- *quantité transportée*
- *distance de transport*
- *type d'engins utilisés*

transformé en essieux équivalent 13 t en fonction de l'agressivité (matériaux traités ou non traités), d'où 5 classes de trafic :



- En fonction :
- quantité transportée ( $10^5$  à  $10^6$  t)
  - type d'engins
  - type de matériaux PST

# AGRESSIVITE DU TRAFIC

1 engin de transport = A essieu de 130 kN

basé sur la loi de Mineur (cumul des dommages à la fatigue).

dépend donc :

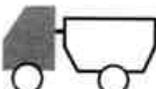
- de la nature des matériaux,
- du type d'engins.

Exemple :

| ENGINS                           | PST GRANULAIRE | PST TRAITEE OU LH |
|----------------------------------|----------------|-------------------|
| Tombereau non articulé Cu > 40 t | A = 30         | 327               |
| PL normal Cu > 25 t              | 5,2            | 35                |

# EQUIVALENCE EN ESSIEUX DE 13 T

- pour les couches en matériaux non traités ou traités à la chaux.

| Engins                     | Tombereau non articulé<br>CU > 40 t<br>(769 C)   | PL spéciaux<br>CU = 40 t   | Tombereau articulé<br>CU = 25 t<br>(D 30 C)   | Tombereau articulé<br>CU = 32 t<br>(A 35)  | PL normaux<br>CU = 25 t  | Tombereau articulé<br>CU = 25 t<br>(A 25)  |
|----------------------------|--|--|---|--|--|--|
| Quantités                  | <br>22 t 44 t | <br>6 t 16 t 38 t | <br>22 t 29 t | <br>17 t 43 t | <br>6 t 13 t 21 t | <br>12 t 30 t |
| 100 000 à<br>500 000 t     | 225 000  | 187 000  | 144 000   | 94 000   | 62 400   | 57 600   |
| 500 000 à<br>1 000 000 t   | 570 000  | 475 000  | 360 000   | 234 000  | 156 000  | 144 000  |
| 1 000 000 à<br>2 000 000 t | 1 125 000  | 937 500  | 720 000   | 470 000  | 312 000  | 288 000  |
| >2 000 000 t               | 1 875 000  | 1 562 500  | 1 200 000   | 800 000  | 520 000  | 480 000  |

# EXEMPLES

|                      |  |  |  |                            |                            |                            |
|----------------------|--|--|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <b>Type de PST :</b> | non traitée                                  | non traitée                                  | non traitée                                    | traitée                    | traitée                    | traitée                    |
| <b>Volume :</b>      | 100 000 t                                    | 300 000 t                                    | 500 000 t                                      | 400 000 t                  | 800 000 t                  | 1 000 000 t                |
| <b>Engin :</b>       | tombereau<br>articulé<br>CU > 25 t<br>(A 25) | tombereau<br>articulé<br>CU > 32 t<br>(A 35) | tombereau<br>articulé<br>CU > 25 t<br>(D 30 C) | PL<br>normaux              | PL<br>normaux              | PL<br>spéciaux             |
| <b>Distance :</b>    | d < 5 km                                     | d < 5 km                                     | d < 5 km                                       | d > 5 km                   | d > 5 km                   | d > 5 km                   |
|                      | ▼<br><i>TC<sub>1</sub></i>                   | ▼<br><i>TC<sub>2</sub></i>                   | ▼<br><i>TC<sub>3</sub></i>                     | ▼<br><i>TC<sub>4</sub></i> | ▼<br><i>TC<sub>5</sub></i> | ▼<br><i>TC<sub>5</sub></i> |

# CLASSEMENT DU SOL-SUPPORT A LONG TERME ET SOUS CONDITIONS DEFAVORABLES

| Portance des sols supports | CBR après immersion correspondant | EV <sub>2</sub> (MPa) |
|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| S <sub>0</sub>             | 0 - 3                             | non réalisé           |
| S <sub>1</sub>             | 3 - 6                             | non réalisé           |
| S <sub>12</sub>            | 6 - 10                            | 30 - 50               |
| S <sub>2</sub>             | 10 - 20                           | 50 - 80               |
| S <sub>23</sub>            | 20 - 30                           | 80 - 120              |
| S <sub>3</sub>             | non représentatif                 | 120 - 200             |
| S <sub>4</sub>             | non représentatif                 | >200                  |

Les plages de modules EV<sub>2</sub>, à la même teneur en eau que le CBR, sont données à titre indicatif.

# PORTANCE DES SOLS SUPPORTS

| Portance →<br>↓ Sol | S0  | S1  | S12 | S2  | S23 | S3 | S4 |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| A1                  | XXX |     |     |     |     |    |    |
| A2                  | XXX |     |     |     |     |    |    |
| A3                  | XXX |     |     |     |     |    |    |
| B1                  | XXX |     |     |     |     |    |    |
| B2                  | XXX |     |     |     |     |    |    |
| B31                 |     |     |     | XXX |     |    |    |
| B32                 |     |     | XXX |     |     |    |    |
| B4                  | XXX |     |     |     |     |    |    |
| B5                  | XXX |     |     |     |     |    |    |
| B6                  | XXX |     |     |     |     |    |    |
| C1                  |     | XXX |     |     |     |    |    |
| C2                  |     | XXX |     |     |     |    |    |
| C1B11               |     |     | XXX |     |     |    |    |
| C2B11               |     |     | XXX |     |     |    |    |
| C1B31               |     |     |     | XXX |     |    |    |
| C2B31               |     |     |     | XXX |     |    |    |
| D1                  |     |     | XXX |     |     |    |    |
| D2                  |     |     |     | XXX |     |    |    |
| D3                  |     |     |     | XXX |     |    |    |
| R11                 |     | XXX |     |     |     |    |    |
| R12                 |     | XXX |     |     |     |    |    |
| R13                 | XXX |     |     |     |     |    |    |
| R21                 |     |     |     | XXX |     |    |    |
| R22                 |     |     |     | XXX |     |    |    |
| R23                 |     |     | XXX |     |     |    |    |
| R31                 |     | XXX |     |     |     |    |    |
| R32                 |     | XXX |     |     |     |    |    |
| R33                 |     | XXX |     |     |     |    |    |
| R34                 |     | XXX |     |     |     |    |    |
| R41                 |     |     |     | XXX |     |    |    |
| R42                 |     |     | XXX |     |     |    |    |
| R43                 |     | XXX |     |     |     |    |    |
| R61                 |     |     |     |     | XXX |    |    |
| R62                 |     |     |     | XXX |     |    |    |
| R63                 |     |     | XXX |     |     |    |    |

XXX portance de dimensionnement

plage de portance

# OBJECTIFS DE QUALITE SUR LA PARTIE SUPERIEURE DES TERRASSEMENTS

|                    | non traité | non traité | non traité<br>ou traité (1) | non<br>traité  | traité (2) | non<br>traité  | traité (2) |
|--------------------|------------|------------|-----------------------------|----------------|------------|----------------|------------|
| Trafic             | TC1        | TC2        | TC3                         | TC4            |            | TC5            |            |
| Portance/déflexion | 20 MPa     | 35 MPa     | 50 MPa                      | 80 MPa         | 80/100e    | 120 MPa        | 50/100e    |
| Ornière, glissance | Admissible | Admissible | Non admissible              | Non admissible |            | Non admissible |            |
| Nivellement        | ± 5 cm     | ± 5 cm     | ± 5 cm                      | ± 5 cm         | ± 3 cm     | ± 5 cm         | ± 3 cm     |

*(1) traitement à la chaux principalement.*

*(2) traitement aux liants hydrauliques.*

# OBJECTIFS DE QUALITE SUR LA COUCHE DE FORME

|  | <b>PF<sub>2</sub><br/>non traité</b> | <b>traité</b> | <b>PF<sub>3</sub><br/>non traité</b> | <b>traité</b> | <b>PF<sub>4</sub><br/>non traité</b> | <b>traité</b> |
|--|--------------------------------------|---------------|--------------------------------------|---------------|--------------------------------------|---------------|
| <b>Portance<br/>ou déflexion<br/>à court terme</b> | 80 MPa<br>150/100e                   | 80/100e       | 120 MPa<br>ou 100/100e               | 50/100e       | 200 MPa<br>ou 60/100e                | 20/100e       |
| <b>Portance<br/>ou déflexion<br/>à long terme</b>  | 50 MPa                               | 80/100e       | 120 MPa                              | 50/100e       | 200 MPa                              | 20/100e       |
| <b>Ornière,<br/>glissance</b>                      | Non admissible                       |               | Non admissible                       |               | Non admissible                       |               |
| <b>Nivellement</b>                                 | ±3 cm (±2 cm*)                       | ±2 cm         | ±3 cm (±2 cm*)                       | ±2 cm         | ±3 cm (±2 cm*)                       | ±2 cm         |
| <b>Uni (à l'APL NBO)</b>                           | <b>OM</b> : 95 % ≥ 6                 |               | <b>GO</b> : 95 % ≥ 9 ou 100 % ≥ 8    |               |                                      |               |

*(\*) Pour les cas des couches de fondation en grave bitume ou en enrobé à module élevé.*

# STRUCTURE DES PLATES-FORMES

**L'épaisseur de la partie supérieure des terrassements est définie suivant la nature des matériaux qui la constituent :**

*matériaux traités aux liants hydrauliques de classe 5*

*matériaux traités à la chaux*

*matériaux non traités de classe S2*

*matériaux non traités de classe S3*

en fonction de

- la portance du sol-support  $S_k$
- du trafic de chantier le plus fort attendu  $T_{c_i}$

**La couche de forme correspondante dépend :**

- du matériau utilisé en couche de forme  $S_f$  (non traité) ou de classe  $m$  (traité),
- de la portance de plate-forme utilisée : PF2, PF3 ou PF4.

# MATERIAUX S3 EN PARTIE SUPERIEURE DES TERRASSEMENTS

Portance du sol  
support

S1

S12

S2

S23

S3

Trafic de chantier

TC1

TC2

TC3

TC4

TC5

TC1 à

TC2

TC3

TC4

TC5

TC1 à

TC3

TC4

TC5

TC4

TC5

Tci

## PARTIE SUPERIEURE DES TERRASSEMENTS :MATERIAUX NON TRAITES DE TYPE "S3"

|     |      |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |      |       |     |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-----|
| PST | 0 cm | 35 cm | 50 cm | 65 cm | 80 cm | 0 cm | 35 cm | 50 cm | 65 cm | 0 cm | 35 cm | 50 cm | 0 cm | 35 cm | 0cm |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-----|

## OBJECTIF DE LA PLATE-FORME

### MATERIAUX NON TRAITES DE TYPE "sf" EN COUCHE DE FORME

|     |          |                    |          |        |    |   |          |        |    |   |        |    |   |    |   |   |
|-----|----------|--------------------|----------|--------|----|---|----------|--------|----|---|--------|----|---|----|---|---|
| PF2 | S2<br>S3 | RE + 75<br>RE + 55 | 35<br>35 | R<br>R |    |   | 35<br>35 | R<br>R |    |   | R<br>R |    |   |    |   |   |
| PF3 | S3       | RE + 85            | 65       | 50     | 35 | R | 65       | 50     | 35 | R | 50     | 35 | R | 35 | R | R |

### MATERIAUX TRAITES DE "classe m" EN COUCHE DE FORME

|     |                                  |   |                |                |                |                |                    |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|-----|----------------------------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| PF2 | CLASSE 3<br>CLASSE 4<br>CLASSE 5 | RE + 35<br>RE + 40<br>RE + 45 (*)         | 25<br>30<br>35 | R<br>R<br>R    |                |                | 25<br>30<br>35     | R<br>R<br>R    |                |                | R<br>R<br>R    |                |                |                |                |                |
| PF3 | CLASSE 3<br>CLASSE 4<br>CLASSE 5 | RE + 40<br>RE + 45 (*)<br>RE + 55 (*)     | 30<br>35<br>40 | 25<br>30<br>35 | 20<br>25<br>30 | R<br>R<br>R    | 30<br>35<br>40     | 25<br>30<br>35 | 20<br>25<br>30 | R<br>R<br>R    | 25<br>30<br>35 | 20<br>25<br>30 | R<br>R<br>R    | 20<br>25<br>30 | R<br>R<br>R    | R<br>R<br>R    |
| PF4 | CLASSE 3<br>CLASSE 4<br>CLASSE 5 | RE + 45 (*)<br>RE + 55 (*)<br>RE + 75 (*) | 35<br>40<br>40 | 30<br>35<br>40 | 25<br>30<br>35 | 20<br>25<br>30 | 35<br>40<br>45 (*) | 30<br>35<br>40 | 25<br>30<br>35 | 20<br>25<br>30 | 30<br>35<br>40 | 25<br>30<br>35 | 20<br>25<br>30 | 25<br>30<br>35 | 20<br>25<br>30 | 20<br>25<br>30 |

anti-économique

SPT>PF2 (\*) = en deux couches

R = couche de réglage éventuelle

RE = reprofilage

# AUTOROUTE A39 - BOURG-EN-BRESSE/CUISEAUX

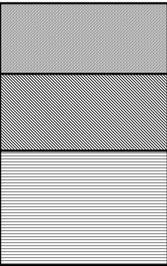
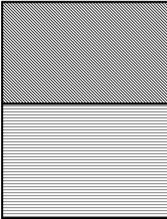
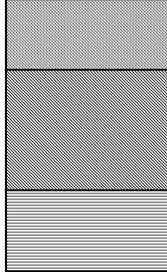
**NORD**

**SUD**

|                           | <b>NORD</b>                     | <b>SUD</b>               |
|---------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| <b>TRAFIC</b>             | 800 000 t par dumpers Cu > 40 t | 150 000 t par PL normaux |
| <b>SOL-SUPPORT</b>        | S1 traité (S12)                 | S1                       |
| <b>PST</b>                | 0/200 calcaire concassé         | PST traitée              |
| <b>COUCHE DE FORME</b>    | 0/200 calcaire concassé         | grave traitée B5         |
| <b>CLASSE PLATE-FORME</b> | PF2                             | PF3                      |

# AUTOROUTE A39.5

Tableau comparatif des structures obtenues selon les méthodes du GTR et du guide SCETAUROUTE

| ZONE NORD  |  |            | ZONE SUD  |   |             |
|--|--|------------|---|---|-------------|
| (GTR + Gel)  | Guide SCETAUROUTE (avec le gel)  | Trafic     | (GTR + Gel)   | Guide SCETAUROUTE (avec le gel)   | Trafic      |
|  <p>cdf 0,40 m<br/>PST 0,30 m<br/>sol support traité</p> |  <p>PST 0,50 m<br/>sol support traité S1.2</p> | <b>TC4</b> |  <p>cdf 0,40 m<br/>PST 0,60 m<br/>sol support</p> |  <p>cdf 0,30 à 0,40 m<br/>PST 0,40 m<br/>sol support S1</p> | <b>TC 4</b> |

# IMPORTANCE D 'UNE CONCEPTION GLOBALE SUR LA DUREE DE VIE

## Coût chaussées + couche de forme

- 30 % coût d 'une autoroute neuve de rase campagne.
- 80 % travaux d'entretien.

## Coût total

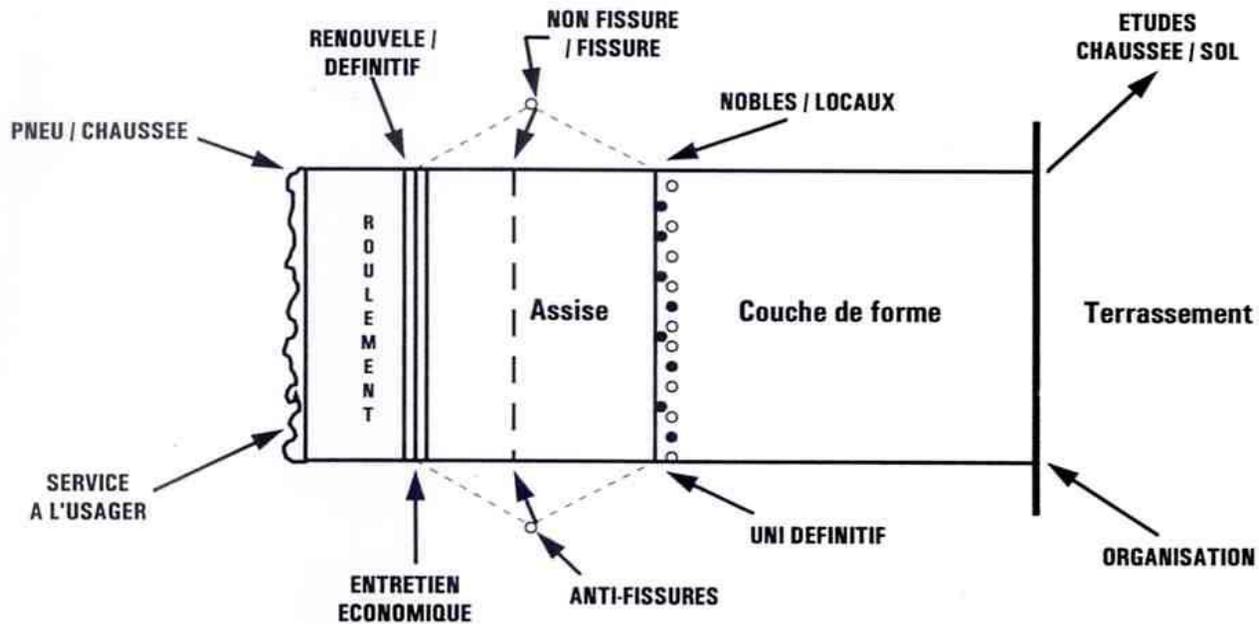
- Chaussée : 50 à 60 %.
- Couche de forme : 20 % en PF2, 35 % en PR 4.
- Entretien : 15 à 25 %.

## OPTIMISATION GLOBALE PAR :

- l'intégration de la couche de forme dans la structure,
- l'interface fonctionnelle entre matériaux nobles et matériaux qui a tendance à être placés le plus en plus haut dans la conception,
- la séparation de fonction de surface et de structure,
- le contrôle de l'uni et donc de la régularité des épaisseurs le plus bas possible,
- la préoccupation d'intégrer dans la conception les travaux futurs d'entretien.

# OBJECTIFS DE DURABILITE ET DE NIVEAU DE SERVICE

- Durée de service
- Sécurité (adhérence, uni)
- Confort (uni)
- Limitation de la gêne due aux travaux d'entretien



## COUTS D 'ENTRETIEN

Niveau de service dépend de deux aspects :

- Qualité d 'usage qui concerne essentiellement la surface de la chaussée (uni, adhérence)
- Niveau de risque sur la résistance mécanique de la chaussée vis à vis du trafic et des effets du climat (aspect structurel).

Difficultés à connaître la loi d'évaluation des chaussées dans le temps.

Scénarii d'entretien établis à partir de l 'analyse du comportement de 10 000 km de chaussée,

- . pour une durée de service longue (40 ans),
- . et risque faible (entretien préventif).

# EXEMPLE DE SCENARIO D 'ENTRETIEN

## Structure GB/GB :

dans le cadre d'une stratégie de dimensionnement à durée de service longue (40 ans) et d'une stratégie d'entretien préventif :

- utilisation de BBTM, de la thermorégénération ou du recyclage en place,
  - recharge minimum pour entretien de la structure (environ 0.5 cm/an),
- soit :

| Age    | Travaux             |
|--------|---------------------|
| 3 ans  | SF                  |
| 9 ans  | 6BB                 |
| 17 ans | RS 60 %<br>6BB 40 % |
| 25 ans | RS 40 %<br>6BB 60 % |
| 33 ans | RS 60 %<br>6BB 40 % |
| 41 ans | RS 40 %<br>6BB 60 % |

# EXEMPLE D'OPTIMISATION GLOBALE

## Structures possibles

|                   |                        |                    |                    |                    |
|-------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                   | 8 BB                   | 8 BB               | 7 BB               |                    |
|                   | 15 GB                  | 15 GB              | 12 GB              |                    |
| PF <sub>2</sub> ↓ | 27 GH                  | 12 GRH             | 12 GB              | ↓ PEX              |
|                   | 70 cm                  | 40 cm              | 40 cm              |                    |
|                   | calcaire<br>non traité | calcaire<br>traité | calcaire<br>traité |                    |
|                   |                        |                    |                    | 25 BAC             |
|                   |                        |                    |                    | 5 BB               |
|                   |                        |                    |                    | 40 cm              |
|                   |                        |                    |                    | calcaire<br>traité |

## Coûts

| Structures                   | Forme  | Chaussée | Entretien | Total    | Ecart |
|------------------------------|--------|----------|-----------|----------|-------|
| Structure GB/GH/PF           | 255,00 | 805,00   | 170,00    | 1 230,00 | 8%    |
| Structure GB/GB/PEX          | 400,00 | 640,00   | 165,00    | 1 200,00 | 5%    |
| Structure BAC/PEX            | 370,00 | 815,00   | 135,00    | 1 320,00 | 15%   |
| Structure Inverse GB/GRH/PEX | 395,00 | 580,00   | 165,00    | 1 140,00 | 0%    |

Intérêt pour améliorer la couche de forme (plate-forme PF4) conduisant à économiser sur les chaussées en valorisant les matériaux locaux calcaires.